

KMITOČTOVÉ FILTRY

1.	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	18
2.	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY ZÁKLADNÍCH TYPŮ FILTRŮ	50
3.	NÁVRH FILTRŮ RC A RLC 1. A 2. ŘÁDU	124
4.	FILTRY RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ ...	158
5.	FILTRY ARC 2. ŘÁDU	222
6.	FILTRY ARC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ ...	322
7.	FILTRY SE SPÍNANÝMI KONDENZÁTORY	392
8.	ZVLÁŠTNÍ TYPY A APLIKACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	402
9.	OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ A VYUŽITÍ PŘI JEJICH NÁVRHU	458
10.	PŘÍLOHA: NÁVRHOVÉ TABULKY	496

OBSAH

1	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	18
1.1	KMITOČTOVÉ FILTRY A JEJICH POUŽITÍ	18
1.1.1	Oblasti a příklady použití kmitočtových filtrů	19
1.1.2	Způsoby realizací kmitočtových filtrů	21
1.2	POPIS PŘENOSOVÝCH VLASTNOSTÍ FILTRŮ, JEJICH CHARAKTERISTIKY	25
1.2.1	Průchod signálu kmitočtovým filtrem a přenosové kmitočtové charakteristiky filtrů	25
1.2.2	Časové charakteristiky kmitočtových filtrů	30
1.2.3	Základní typy filtrů	34
1.2.4	Řád přenosové funkce filtru a jeho praktický význam a volba	37
1.2.5	Rozklad a způsoby vyjádření přenosové funkce filtru	38
1.3	OBECNÝ POSTUP PŘI NÁVRHU KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	43
1.3.1	Stanovení základních požadavků na filtr	45
1.3.2	Kritéria pro návrh a realizaci filtrů	47
2	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY ZÁKLADNÍCH TYPŮ FILTRŮ	50
2.1	FILTRY S PŘENOSOVOU FUNKCÍ 1. ŘÁDU	50
2.1.1	Dolní propust 1. řádu	50
2.1.2	Horní propust 1. řádu	53
2.1.3	Korekční filtr 1. řádu	56
2.1.4	Fázovací článek 1. řádu	56
2.2	FILTRY S PŘENOSOVOU FUNKCÍ 2. ŘÁDU	59
2.2.1	Dolní propust 2. řádu	60
2.2.2	Horní propust 2. řádu	63
2.2.3	Pásmová propust 2. řádu	65
2.2.4	Pásmová zádrž 2. řádu	69
2.2.5	Dolní propust s nulou přenosu (DPN) 2. řádu	71
2.2.6	Horní propust s nulou přenosu (HPN) 2. řádu	74
2.2.7	Možnosti stanovení kmitočtu F_N filtrů typu DPN a HPN	76

FILTRY RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ

4.1	ZAPOJENÍ FILTRŮ RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	158
4.2	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI FILTRŮ	159
4.3	SYNTÉZA PŘÍČKOVÝCH RLC FILTRŮ	162
4.4	SYNTÉZA NORMOVANÝCH DOLNÍCH PROPUSTÍ (DP_n)	167
4.5	NÁVRHY FILTRŮ RLC Z PROTOTYPŮ DP_n	175
4.6	PÁSMOVÉ PROPUSTI S VÁZANÝMI OBVODY	180
4.7	PŘÍKLADY NÁVRHU FILTRŮ RLC	184
4.8	EKVIVALENTNÍ ÚPRAVY OBVODŮ	198
4.9	VLIV REÁLNÝCH PRVKŮ NA VLASTNOSTI FILTRŮ RLC	216

FILTRY ARC 2. ŘÁDU

5.1	ZÁKLADNÍ PRINCIPY FUNKCE FILTRŮ ARC	222
5.2	KLASIFIKACE A ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI FILTRŮ ARC 2. ŘÁDU	242
5.3	NÁVRH FILTRŮ ARC 2. ŘÁDU	285
5.4	NÁVRH IMPEDANČNÍHO KONVERTORU, SYNTETICKÝCH INDUKTORŮ A DVOJNÝCH KAPACITORŮ	315

FILTRY ARC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ

- 6.1 FILTRY ARC S KASKÁDNÍM
ŘÁZENÍM BLOKŮ
1. A 2. ŘÁDU 324**
- 6.2 FILTRY ARC S NEKASKÁDNÍM
SPOJOVÁNÍM BLOKŮ
1. A 2. ŘÁDU 346**
- 6.3 FILTRY ARC JAKO SIMULACE
PŘÍČKOVÝCH FILTRŮ RLC 359**
- 6.4 FILTRY ARC S KOMBINOVANOU
STRUKTUROU (LEAP-FROG) ... 376**
- 6.5 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ
REALIZACÍ FILTRŮ ARC
S PŘENOSOVÝMI FUNKCEMI
VYŠŠÍCH ŘÁDŮ 385**
- 6.6 INTEGROVANÉ FILTRY ARC
DRUHÉHO A VYŠŠÍCH ŘÁDŮ .. 387**

FILTRY SE SPÍNANÝMI KONDENZÁTORY

- 7.1 PRINCIP FUNKCE
FILTRŮ ASC 392**
- 7.2 UNIVERZÁLNÍ INTEGROVANÉ
BLOKY ASC 2. ŘÁDU 394**
- 7.3 INTEGROVANÉ FILTRY ASC
VYŠŠÍCH ŘÁDŮ 399**

ZVLÁŠTNÍ TYPY A APLIKACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ

- 8.1 PŘELADITELNÉ
A ŘÍZENÉ FILTRY 402**
- 8.2 KMITOČTOVÉ KOREKTORY 414**
- 8.3 FILTRY TYPU DP
S „NULOVÝM“ OFSETEM 429**
- 8.4 FILTRY ARC PRO VELMI
NÍZKÉ KMITOČTY 432**
- 8.5 KMITOČTOVÉ VÝHYBKY
A SLUČOVACÍ OBVODY 434**
- 8.6 OSCILÁTORY RC
A OSCILÁTORY ARC 448**

OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ A VYUŽITÍ POČÍTAČE PŘI JEJICH NÁVRHU

- 9.1 OPTIMALIZACE
KMITOČTOVÝCH FILTRŮ 458**
- 9.2 VYUŽITÍ POČÍTAČE PRO NÁVRH
KMITOČTOVÝCH FILTRŮ 485**

PŘÍLOHA: NÁVRHOVÉ TABULKY

- 10.1 TABULKY PRO NÁVRH
KASKÁDNÍCH FILTRŮ ARC
(KOEFCIENTY F_0 , Q , F_N) –
TAB. P.1 AŽ P.8 498**
- 10.2 TABULKY PRO NÁVRH
PŘÍČKOVÝCH FILTRŮ RLC –
TAB. P.9 AŽ P.13 499**

2.2.8	Korekční obvod 2. řádu (pásmový)	78
2.2.9	Fázovací obvod 2. řádu	79
2.2.10	Nastavování obvodů 2. řádu	80
2.3	PŘENOSOVÉ FUNKCE FILTRŮ VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	83
2.3.1	Toleranční pole a kmitočtové transformace na normovanou dolní propust (DP_n)	85
2.3.2	Základní typy aproximací přenosové funkce a jejich vlastnosti	90
2.3.3	Besselova aproximace	93
2.3.4	Butterworthova aproximace	95
2.3.5	Čebyševova aproximace	95
2.3.6	Feistelova-Unbehauenova aproximace	99
2.3.7	Inverzní Čebyševova aproximace	99
2.3.8	Cauerova aproximace	101
2.3.9	Další typy aproximací	103
2.3.10	Systém standardních aproximací, možnost porovnání a výběru typu aproximace	111
2.3.11	Zpožďovací obvody vyšších řádů	117
2.4	CITLIVOSTI A TOLERANCE PŘENOSOVÝCH VLASTNOSTÍ FILTRŮ	120
3	NÁVRH FILTRŮ RC A RLC 1. A 2. ŘÁDU	124
3.1	NÁVRH FILTRŮ RC	124
3.1.1	Návrh filtrů RC 1. řádu	126
3.1.2	Návrh filtrů RC 2. řádu	131
3.1.3	Návrh filtrů RC vyšších řádů (kaskády RC článků)	139
3.2	NÁVRH FILTRŮ RLC 2. ŘÁDU	141
3.2.1	Jednostranně zakončené filtry RLC 2. řádu	141
3.2.2	Oboustranně zakončené filtry RLC 2. řádu	143
3.2.3	Návrh DP s článkem Π 3. řádu	147
3.3	NÁVRH FÁZOVACÍCH ČLÁNKŮ RLC 1. A 2. ŘÁDU	148
3.3.1	Návrh fázovacího článku LC 1. řádu	149
3.3.2	Návrh fázovacího článku LC 2. řádu	151
3.3.3	Reálné vlastnosti fázovacích článků LC	152

4	FILTRY RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	158
4.1	ZAPOJENÍ FILTRŮ RLC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	158
4.2	PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI FILTRŮ	159
4.3	SYNTÉZA PŘÍČKOVÝCH RLC FILTRŮ	162
4.3.1	Syntéza prototypu DP_n	162
4.3.2	Impedanční zakončení filtrů	164
4.4	SYNTÉZA NORMOVANÝCH DOLNÍCH PROPUSTÍ (DP_n)	167
4.4.1	Dolní propusti s monotónně rostoucím útlumem	168
4.4.2	Dolní propusti s nulami přenosu	171
4.5	NÁVRHY FILTRŮ RLC Z PROTOTYPŮ DP_n	175
4.5.1	Návrh dolních propustí (DP) – impedanční a kmitočtové odnormování	175
4.5.2	Návrh horních propustí (HP)	175
4.5.3	Návrh pásmových propustí (PP) a pásmových zádrží (PZ)	177
4.6	PÁSMOVÉ PROPUSTI S VÁZANÝMI OBVODY	180
4.6.1	Návrh PP s vázanými obvody	180
4.6.2	Impedanční transformace PP s vázanými obvody	182
4.6.3	Nuly přenosu PP s vázanými obvody	184
4.7	PŘÍKLADY NÁVRHU FILTRŮ RLC	184
4.8	EKVIVALENTNÍ ÚPRAVY OBVODŮ	198
4.8.1	Dvojpólové transformace	200
4.8.2	Trojpólové transformace	200
4.8.3	Dvojbranové transformace	203
4.8.4	Příklady použití transformací	209
4.9	VLIV REÁLNÝCH PRVKŮ NA VLASTNOSTI FILTRŮ RLC	216
4.9.1	Vliv ztrát cívek a kondenzátorů	217
4.9.2	Vliv tolerance hodnot prvků	218
5	FILTRY ARC 2. ŘÁDU	222
5.1	ZÁKLADNÍ PRINCIPY FUNKCE FILTRŮ ARC	222
5.1.1	Obvody s náhradou cívky	222
5.1.2	Brutonova transformace a dvojné kapacitory	225
5.1.3	Transformační dvojbrany	226
5.1.4	Obecný pohled na obvod ARC 2. řádu	229

5.1.5	Stavební prvky filtrů ARC a základní vlivy jejich reálných vlastností	231
5.2	KLASIFIKACE A ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI FILTRŮ ARC 2. ŘÁDU	242
5.2.1	Zapojení bloků 2. řádu s jedním OZ	242
5.2.2	Zapojení bloků 2. řádu s dvěma OZ	258
5.2.3	Zapojení bloků 2. řádu se třemi a více OZ	267
5.2.4	Zapojení bloků 2. řádu s jinými typy aktivních prvků	274
5.2.5	Zapojení bloků ARC 2. řádu vhodných pro pásmo nad 1 MHz	278
5.3	NÁVRH FILTRŮ ARC 2. ŘÁDU	285
5.3.1	Návrh DP 2. řádu	286
5.3.2	Návrh HP 2. řádu	293
5.3.3	Návrh PP 2. řádu	297
5.3.4	Návrh PZ 2. řádu	299
5.3.5	Návrh DPN 2. řádu	303
5.3.6	Návrh HPN 2. řádu	307
5.3.7	Návrh FČ 2. řádu	313
5.3.8	Návrh univerzálního filtru 2. řádu	315
5.4	NÁVRH IMPEDANČNÍHO KONVERTORU, SYNTETICKÝCH INDUKTORŮ A DVOJNÝCH KAPACITORŮ	315
5.4.1	Antoniův impedanční konvertor (GIC)	317
5.4.2	Ztrátové uzemněné indukty a dvojné kapacitory	317
5.4.3	Bezeztrátové indukty a dvojné kapacitory	319
5.4.4	Bezeztrátový sériový rezonanční obvod RD s jedním OZ	320
6	FILTRY ARC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	322
6.1	FILTRY ARC S KASKÁDNÍM ŘÁZENÍM BLOKŮ 1. A 2. ŘÁDU	324
6.1.1	Princip kaskádní realizace	324
6.1.2	Transformace parametrů normované DP _n na DP, HP, PP a PZ	327
6.1.3	Přenosy K _{0i} jednotlivých bloků a řazení bloků z hlediska maximálního dynamického rozsahu	331
6.1.4	Bloky 3. řádu pro realizaci filtrů typu DP a HP bez nul přenosu	337

6.1.5	Zpožďovací obvody	338
6.1.6	Příklady návrhu filtrů s kaskádním řazením	338
6.2	FILTRY ARC S NEKASKÁDNÍM SPOJOVÁNÍM BLOKŮ 1. A 2. ŘÁDU	346
6.2.1	Principy nekaskádní realizace	347
6.2.2	Návrh filtrů s nekaskádním řazením ve struktuře PRB	353
6.2.3	Příklady návrhu filtrů ve struktuře PRB	355
6.3	FILTRY ARC JAKO SIMULACE PŘÍČKOVÝCH FILTRŮ RLC	359
6.3.1	Bloková simulace filtrů RLC s využitím Brutonovy transformace	360
6.3.2	Simulace filtrů RLC se ztrátovými syntetickými prvky (s jedním OZ)	367
6.3.3	Simulace ARC pásmových propustí RLC s vázanými obvody	370
6.3.4	Příklady návrhu filtrů ARC simulací filtrů RLC	372
6.4	FILTRY ARC S KOMBINOVANOU STRUKTUROU (LEAP-FROG)	376
6.4.1	Princip funkce a návrhu realizace „leap-frog“	376
6.4.2	Příklady návrhu filtrů s realizací „leap-frog“	382
6.5	POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ REALIZACÍ FILTRŮ ARC S PŘENOSOVÝMI FUNKCEMI VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	385
6.6	INTEGROVANÉ FILTRY ARC DRUHÉHO A VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	387
7	FILTRY SE SPÍNANÝMI KONDENZÁTORY	392
7.1	PRINCIP FUNKCE FILTRŮ ASC	392
7.2	UNIVERZÁLNÍ INTEGROVANÉ BLOKY ASC 2. ŘÁDU	394
7.3	INTEGROVANÉ FILTRY ASC VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	399
8	ZVLÁŠTNÍ TYPY A APLIKACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	402
8.1	PŘELADITELNÉ A ŘÍZENÉ FILTRY	402
8.1.1	Filtry 2. řádu s nastavitelnými parametry	403
8.1.2	Přeladitelné filtry vyšších řádů	413
8.2	KMITOČTOVÉ KOREKTORY	414
8.2.1	Pevně laděné vícepásmové korektory pro akustiku	415

8.2.2	Parametrické korektory	427
8.3	FILTRY TYPU DP S „NULOVÝM“ OFSETEM	429
8.4	FILTRY ARC PRO VELMI NÍZKÉ KMITOČTY	432
8.5	KMITOČTOVÉ VÝHYBKY A SLUČOVACÍ OBVODY	434
8.5.1	Základní vlastnosti kmitočtových výhybek	434
8.5.2	Kmitočtové výhybky pro akustické pásmo	436
8.5.3	Možnosti realizace a návrh reproduktorových výhybek	445
8.6	OSCILÁTORY RC A OSCILÁTORY ARC	448
8.6.1	Oscilátory RC	449
8.6.2	Oscilátory ARC (s automatickou následnou filtrací)	454
9	OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ A VYUŽITÍ POČÍTAČE PŘI JEJICH NÁVRHU	458
9.1	OPTIMALIZACE KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	458
9.1.1	Optimalizace při specifikaci požadavků a řešení aproximační úlohy	459
9.1.2	Optimalizace při návrhu filtrů RLC	470
9.1.3	Optimalizace při návrhu filtrů ARC	479
9.2	VYUŽITÍ POČÍTAČE PRO NÁVRH KMITOČTOVÝCH FILTRŮ	485
9.2.1	Historický vývoj využití počítačů	485
9.2.2	Možnosti využití počítače pro návrh	486
9.2.3	Porovnání programů pro návrh kmitočtových filtrů	490
9.2.4	Základní vlastnosti programu NAF	494
10	PŘÍLOHA: NÁVRHOVÉ TABULKY	498
10.1	TABULKY PRO NÁVRH KASKÁDNÍCH FILTRŮ ARC (KOEFIČIENTY F_0 , Q , F_N) – TAB. P.1 AŽ TAB. P.8	498
10.2	TABULKY PRO NÁVRH PŘÍČKOVÝCH FILTRŮ RLC – TAB. P.9 AŽ P.13	499
	LITERATURA	515
	REJSTŘÍK	523

ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI KMITOČTOVÝCH FILTRŮ

- 1.1 KMITOČTOVÉ FILTRY
A JEJICH POUŽITÍ 18**
- 1.2 POPIS PŘENOSOVÝCH
VLASTNOSTÍ FILTRŮ,
JEJICH CHARAKTERISTIKY 25**
- 1.3 OBECNÝ POSTUP PŘI NÁVRHU
KMITOČTOVÝCH FILTRŮ 43**



PŘENOSOVÉ VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY ZÁKLADNÍCH TYPŮ FILTRŮ

2.1	FILTRY S PŘENOSOVOU FUNKCÍ 1. ŘÁDU	50
2.2	FILTRY S PŘENOSOVOU FUNKCÍ 2. ŘÁDU	59
2.3	PŘENOSOVÉ FUNKCE VYŠŠÍCH ŘÁDŮ	83
2.4	CITLIVOST A TOLERANCE PŘENOSOVÝCH VLASTNOSTÍ FILTRŮ	120

NÁVRH FILTRŮ RC A RLC 1. A 2. ŘÁDU

3.1	NÁVRH FILTRŮ RC	124
3.2	NÁVRH FILTRŮ RLC 2. ŘÁDU	141
3.3	NÁVRH FÁZOVACÍCH ČLÁNKŮ RLC 1. A 2. ŘÁDU	148